

①9 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENTAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**
⑪ **DE 3732210 A1**

⑳ Aktenzeichen: P 37 32 210.9
㉔ Anmeldetag: 24. 9. 87
㉕ Offenlegungstag: 13. 4. 89

⑤① Int. Cl. 4:
H03K 17/72
H 01 L 29/74
// H03K 17/04

DE 3732210 A1

㉑ Anmelder:

Siemens AG, 1000 Berlin und 8000 München, DE

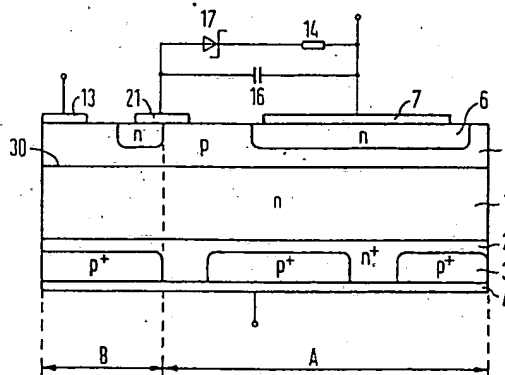
㉒ Erfinder:

Voß, Peter, Dr., 8000 München, DE

⑤④ Asymmetrischer Thyristor

Die Sperreigenschaften von einseitig sperrenden asymmetrischen Thyristoren werden durch anodenseitige und katodenseitige Kurzschlüsse verbessert. Allerdings können diese beidseitigen Kurzschlüsse zum Freierdeversagen führen. Um dies zu vermeiden und sowohl eine günstige Zündausbreitung als auch eine kurze Freierdezeit zu gewährleisten, wird vorgeschlagen, zwischen die Steuerelektrode (13) und die Katodenelektrode (7) des asymmetrischen Thyristors eine Diode (17), z. B. eine Schottky-Diode, und einen Kondensator (16) parallel zu schalten. Dadurch wird erreicht, daß die Nebenschlußwirkung der Diode (17) auf ein Niveau verringert werden kann, das durch die gewünschten zulässigen Sperrströme bestimmt ist.

FIG 2



DE 3732210 A1

Patentansprüche

1. Asymmetrischer Thyristor mit einem Halbleiterkörper, der eine erste Basiszone eines ersten Leitfähigkeitstyps aufweist, die aus einer schwach dotierten Schicht (1) und einer stark dotierten Schicht (2) gebildet ist, und die stark dotierte Schicht (2) ihrerseits über ihre äußere Fläche verteilt und eine erste Emitterzone bildende stark dotierte Bereiche (3) eines zweiten Leitfähigkeitstyps aufweist, deren Tiefe geringer als die Tiefe der stark dotierten Schicht (2) ersten Leitfähigkeitstyps ist, und mit einer dieser Bereiche (3) und die stark dotierte Schicht (2) ersten Leitfähigkeitstyps miteinander verbindenden ersten Emittierelektrode (4) und mit einer an die äußere Fläche der schwach dotierten Schicht (1) angrenzenden zweiten Basiszone (5) zweiten Leitfähigkeitstyps, die mit einer Elektrode (21) verbunden ist, und mit einer zweiten Emitterzone (6) ersten Leitfähigkeitstyps, die mit einer zweiten Emittierelektrode (7) verbunden ist, dadurch gekennzeichnet, daß ein zur Zündverstärkung dienender Hilfsth Thyristor vor den asymmetrischen Thyristor geschaltet ist, und daß zwischen die Elektrode (21) des Thyristors und die zweite Emittierelektrode (7) eine Diode (17) gleichsinnig parallel geschaltet ist, und daß die Diode (17) eine kleinere Schwellenspannung als der von der zweiten Emitterzone (6) und der zweiten Basiszone (5) gebildeten pn-Übergang hat, und daß parallel zur Diode (17) ein Kondensator (16) geschaltet ist.
2. Asymmetrischer Thyristor nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Diode (17) ein Widerstand (14) in Reihe geschaltet ist, der zur Verlustbegrenzung dient.
3. Asymmetrischer Thyristor nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß der Hilfsth Thyristor und der Thyristor in einen gemeinsamen Halbleiterkörper integriert sind.
4. Asymmetrischer Thyristor nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß dem asymmetrischen Thyristor eine Diode (24) in Reihe geschaltet ist.
5. Asymmetrischer Thyristor nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß dem asymmetrischen Thyristor eine Diode (22) antiparallel geschaltet ist.

Beschreibung

Die Erfindung betrifft einen asymmetrischen Thyristor gemäß dem Oberbegriff des Anspruches 1.

Ein solcher Halbleiterkörper ist von R.A. Kokosa und B.R. Tuft in IEEE Transactions on Electron Devices, Vol. ED-17, 9, 1970 auf den Seiten 667 bis 672 beschrieben worden. Fig. 3 dieser Veröffentlichung zeigt den Querschnitt eines solchen asymmetrischen Thyristors. Dieser asymmetrische Thyristor weist sowohl katoden- als auch anodenseitige Kurzschlüsse auf.

Mit den anodenseitigen Kurzschlüssen kann verhindert werden, daß der pnp-Transistorteil des asymmetrischen Thyristors den durch die thermische Anregung der Ladungsträger erzeugten Strom verstärkt. Das Ausschalten der anodenseitigen Verstärkung hat niedrige Sperrstromniveaus und damit hohe mögliche Betriebstemperaturen zur Folge.

Es hat sich bei einem solchen asymmetrischen Thyristor gezeigt, daß gegenüber asymmetrischen Thyristo-

ren, die nur kathodenseitig mit Kurzschlüssen versehen sind, eine höhere Nullkippspannung zu erreichen ist.

Die Kombination von anoden- und kathodenseitigen Kurzschlüssen haben aber andererseits in dem beschriebenen Thyristorhalbleiterkörper den Nachteil, daß sich das Zünd- und das Freierververhalten verschlechtert.

Durch das Einfügen der anodenseitigen Kurzschlüsse in den Halbleiterkörper entstehen lokale $p^{+}nn^{+}$ -Diodenbereiche, die bei der Kommutierung — also beim Auftreten einer negativen Anodenspannung — in Durchlaßrichtung gepolt sind. Dies führt zur Injektion von Ladungsträgern in den Halbleiterkörper. Diese Ladungsträger können dann beim Anstieg der positiven Spannung zum Freierverversagen führen. Der Thyristor wird nicht mehr frei, d. h. er übernimmt keine Spannung mehr. Aus diesem Grunde werden asymmetrische Thyristoren heute ohne Anodenkurzschlüsse hergestellt.

Die Probleme des Nichtfreierwerdens von Thyristoren mit Anodenkurzschluß lassen sich vermeiden, wenn man den asymmetrischen Thyristor ähnlich wie einen GTO-Thyristor aufbaut und ihn auch ähnlich ansteuert. D.h., daß die n-Emitterfinger schmal ausgebildet werden und an die Gate-Elektrode zum Abschalten ein negativer Impuls angelegt wird. Der Aufwand und damit die Kosten für die Ansteuerung des GTO-Thyristors und die geringe Flächenausnutzung sind für einen normalen asymmetrischen Thyristor ein gravierender Nachteil.

In der DE-OS 28 01 722 ist aber eine Ansteuerung zum Herabsetzen der Freierzeit von Thyristoren beschrieben, die nur einen geringen Aufwand bedingt. Der dort beschriebene Thyristor besitzt die bekannte Amplifying-Gate-Struktur, wobei auch die Hilfsemittierelektrode einen Anschluß aufweist. Zwischen Hilfsemittierelektrode und Kathodenelektrode ist eine Parallelschaltung eines Kondensators und einer Diode mit in Reihe geschaltetem Widerstand geschaltet. Die Diode ist gleichsinnig zum pn-Übergang der kathodenseitigen Basiszone und der Kathodenzone geschaltet. Wichtig für die Funktion der Anordnung ist, daß die Diode eine kleinere Schwellenspannung besitzt als der genannte pn-Übergang des Thyristors.

Diese Anordnung erzeugt aus dem Kommutierungsstrom des Thyristors eine negative Vorspannung für die Hilfsemittierelektrode. Die Freierzeit des Thyristors wird um so mehr verkürzt, je mehr der Kondensator aufgeladen werden kann.

In der DE-OS 28 01 722 sind nur die kathodenseitigen Zonen eines Thyristors mit dazugehöriger Beschaltung, bestehend aus Kondensator und Diode mit in Reihe geschaltetem Widerstand beschrieben (vgl. Fig. 1). Sowohl von der Ausgestaltung der anodenseitigen Zonen als auch von einem asymmetrischen Thyristor ist in dieser Druckschrift nicht die Rede. So ist in der DE-OS 28 01 722 auch kein asymmetrischer Thyristor erwähnt, der zur Verbesserung seiner Sperreigenschaften mit anodenseitigen Kurzschlußlöchern versehen ist. Die Probleme, die bei einem asymmetrischen Thyristor mit anodenseitigen Kurzschlußlöchern auftreten und wie diese gelöst werden können ist in dieser Veröffentlichung nicht dargestellt.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, einen asymmetrischen Thyristor mit hoher du/dt -Festigkeit, hoher maximaler Betriebstemperatur und einem guten Freierverhalten bei günstiger Zündausbreitung zu schaffen.

Diese Aufgabe wird durch die kennzeichnenden Merkmale des Anspruches 1 gelöst.

Die Diode stellt einen gleichrichtenden Nebenschluß für den n-Emitter dar. Der der Diode parallel geschaltete Kondensator dient als Speicher negativer Ladung, die die Verringerung der Freiwerdezeit und die hohe du/dt -Festigkeit bewirkt.

Weiterbildungen der Erfindung sind Gegenstand der Unteransprüche.

Die Erfindung wird im folgenden anhand von Ausführungsbeispielen in Verbindung mit Figuren näher erläutert.

Es zeigen:

Fig. 1 Einen Schnitt durch einen bekannten asymmetrischen Thyristor mit einem Halbleiterkörper, der anoden- und katodenseitige Kurzschlüsse aufweist,

Fig. 2 einen Schnitt durch ein Ausführungsbeispiel eines erfindungsgemäßen asymmetrischen Thyristors mit einem Halbleiterkörper, der anodenseitige Kurzschlußlöcher aufweist und katodenseitig mit einem Kondensator und einer Diode beschaltet ist,

Fig. 3 einen erfindungsgemäßen asymmetrischen Thyristor mit antiparalleler Diode,

Fig. 4 einen erfindungsgemäßen asymmetrischen Thyristor mit in Reihe geschalteter Diode,

Fig. 5 Strom- und Spannungsverlauf nach Fig. 3, und

Fig. 6 Strom- und Spannungsverlauf zu Fig. 4.

Der in Fig. 1 im Querschnitt dargestellte bekannte asymmetrische Thyristor hat einen Halbleiterkörper, der eine n-dotierte Basiszone aufweist. Diese Basiszone besteht aus einer stark dotierten Schicht 2 und einer schwächer dotierten Schicht 1, die breiter ist als die stark dotierte Schicht 2. In der stark n-dotierten Schicht 2, sind mehrere p-Bereiche 3 eindiffundiert, deren Tiefe geringer ist als die Tiefe der n⁺-dotierten Schicht 2. Diese p-Bereiche 3 bilden den p-Emitter des asymmetrischen Thyristors. Eine gemeinsame erste Elektrode 4, hier die Anodenelektrode, verbindet die p-Bereiche 3 und die stark n⁺-dotierte Schicht 2. An die Oberseite der n-dotierten Basiszone 1 schließt eine p-dotierte Zone 5 an, die von einer Steuerelektrode 13 kontaktiert ist und in die n-dotierte Bereiche 19 eindiffundiert sind. Die Tiefe dieser n-dotierten Bereiche 19 ist geringer als die Tiefe der p-dotierten Basiszone 5. Eine gemeinsame Elektrode 7, hier die Kathodenelektrode, verbindet die n-dotierten Bereiche 19 und die p-dotierte Basiszone 5 miteinander.

Damit ergibt sich in Fig. 1 ein Halbleiterkörper, der einen asymmetrischen Thyristor mit sowohl anoden- und als auch katodenseitigen Kurzschlüssen aufweist. Diese anoden- und katodenseitigen Kurzschlüsse bilden im Halbleiterkörper vertikal verteilte pnn⁺-Diodenbereiche, die zum Thyristor antiparallel angeordnet sind.

Zur Erläuterung der Wirkungsweise sei zunächst angenommen, daß der asymmetrische Thyristor leitet. Es fließt ein durch die treibende Spannung und den Lastkreis bestimmter Strom von der Anodenelektrode 4 zur Kathodenelektrode 7. Am Thyristor selbst liegt eine kleine positive Spannung, die sogenannte Durchlaßspannung. Die antiparallelen Diodenbereiche liegen in Sperrichtung. Beim Abkommutieren des Stromes ist im allgemeinen die Stromabnahmegeschwindigkeit di/dt so groß, daß der Ladungsträgerabbau im Halbleiterkörperinneren der Stromabnahme nacheilt. Das Trägergleichgewicht durch Rekombination stellt sich nicht schnell genug ein. Im Zeitpunkt des Stromnulldurchganges sind deswegen noch Ladungsträger im Inneren des Halbleiterkörpers gespeichert. Der Strom kehrt sein Vorzeichen um (= Rückstrom).

Beim Auftreten einer negativen Anodenspannung werden die pnn⁺-Diodenbereiche im Halbleiterkörper in Durchlaßrichtung gepolt. Durch den Halbleiterkörper fließt Strom von der Kathodenelektrode 7 zur Anodenelektrode 4. Es baut sich in diesen Bereichen eine Ladungsträgerwolke auf.

Wird die Spannung nun plötzlich umgepolt, d.h. wird an die Anodenelektrode 4 gegenüber der Kathodenelektrode 7 positive Spannung angelegt, so befinden sich im Halbleiterkörper Ladungsträger, die noch nicht rekombiniert sind und so zum Freiwerdeversagen führen. Je mehr Ladungsträger durch die Diodenbereiche injiziert wurden, desto ungünstiger wird das Freiwerdeverhalten sein. Der Thyristor kann unter Umständen keine Blockierspannung mehr aufnehmen.

In Fig. 2 ist ein Schnitt durch einen Halbleiterkörper eines erfindungsgemäßen Ausführungsbeispiels eines asymmetrischen Thyristors gezeigt. Der dargestellte Halbleiterkörper zeigt eine Thyristoranordnung mit Hauptthyristor A und einen in den Halbleiterkörper integrierten Hilfsthystor B zur inneren Zündverstärkung. Gleiche Bezugszeichen wie in Fig. 1 bezeichnen gleiche Teile. An die p-dotierte Basiszone 5, die mit einer Hilfsemittierelektrode 21 kontaktiert ist, schließt eine mit einer Kathodenelektrode 7 verbundene n-dotierte Emitterzone 6, hier die Kathodenzone, an. Der Halbleiterkörper weist hier also nur auf seiner Anodenseite Kurzschlüsse auf.

Zwischen Hilfsemittierelektrode 21 und Kathodenelektrode 7 ist eine Parallelschaltung eines Kondensators 16 und einer Diode 17 geschaltet. Die Diode 17 ist gegenüber der aus der n-dotierten Zone 6 und der p-dotierten Basiszone 5 gebildeten pn-Übergang 30 gleichsinnig gepolt. Diese Diode 17 kann z. B. eine Schottky-Diode sein oder eine andere Diode, sofern ihre Schwellspannung kleiner als die Schwellspannung des pn-Übergangs 30 ist.

Um die Verluste in der Diode 17 zu begrenzen, wenn der asymmetrische Thyristor Durchlaßstrom führt, ist es vorteilhaft, der Diode 17 einen Widerstand 14 in Reihe zu schalten.

Im Vergleich zum GTO-Thyristor kann die Kathodenelektrode 7, die im allgemeinen als Fingerelektrode ausgebildet ist, wesentlich breiter sein, z. B. 1 mm statt wie beim GTO-Thyristor 0,25 mm. Sie ist damit leichter herstellbar.

Diese breiten Finger sind deswegen zulässig, weil beim Betrieb des asymmetrischen Thyristors beim Auftreten des Vorwärtserholstromes wesentlich geringere Stromdichten vorliegen als dies beim GTO-Thyristor beim Einleiten des Abschaltvorganges der Fall ist. Das liegt daran, daß der asymmetrische Thyristor immer entweder mit einer antiparallelen Diode (vgl. Fig. 3), oder mit einer in Serie geschalteten Diode (vgl. Fig. 4) betrieben wird. Die in diesen Fällen auftretenden Strom- und Spannungsverläufe sind schematisch in Fig. 5 für die Schaltungsanordnung mit antiparalleler Diode und in Fig. 6 für die Schaltungsanordnung mit in Serie geschalteter Diode gezeigt. Der Spannungsverlauf 18 ist in diesen Fig. 5 und 6 gestrichelt gezeichnet und der Stromverlauf 20 als durchgezogene Linie. Der im Zusammenhang mit der Fig. 2 bisher beschriebene Halbleiterkörper des asymmetrischen Thyristors mit Hilfsthystor ist in der Darstellung der Fig. 3 und 4 mit seinem elektrischen Ersatzschaltbild gezeigt.

Im folgenden wird die Wirkungsweise des erfindungsgemäßen asymmetrischen Thyristors in bezug auf die Verkürzung der Freiwerdezeit erklärt. Zunächst befin-

det sich dieser asymmetrische Thyristor im leitenden Zustand. Der Kondensator 16 sei entladen. Beim Abkommutieren des Stromes lädt sich der Kondensator 16 infolge des Rückstromes negativ gegenüber der Kathodenelektrode 7 auf.

und 4 — integriert ausgeführt ist.

Beim Auftreten einer negativen Anodenspannung injizieren die Kurzschlußlöcher auf der Seite der Anodenelektrode 4 des Thyristors Ladungsträger. Hier muß jetzt unterschieden werden zwischen der in Fig. 3 und der in Fig. 4 dargestellten Beschaltung des Thyristors. Bei dem in Fig. 3 dargestellten Thyristor wird die Injektion unterbunden, wenn die negative Spannung an der Anodenelektrode 4 kleiner wird als am Kondensator 16. Bei der in Fig. 4 gezeigten Anordnung wird der Strom durch das Abklingverhalten der in Serie geschalteten Diode 24 bestimmt, d.h. hier kann der negative Strom bis kurz vor dem Zeitpunkt der wiederkehrenden positiven Spannung fließen.

Wird dann die Spannung an der Anodenelektrode 4 gegenüber der Kathodenelektrode 7 positiv (= Blockierspannung), so kehrt sich der Kondensatorstrom um. Dieser Strom ist durch die noch nicht rekombinierten Ladungsträger bedingt. Der asymmetrische Thyristor zündet solange nicht, wie die laterale Spannung unter der n-Zone 6 unter ca. 0,5 V bleibt. Je mehr Ladung im Kondensator 16 gespeichert ist, desto mehr kann das Freiwerdeverhalten positiv beeinflusst werden, weil ein höherer Strom in den Kondensator fließen kann. Die Freiwerdezeit wird so verkürzt.

Beim Zünden des asymmetrischen Thyristors wird an die Gateelektrode 13 des Hilfsthystors B ein positiver Stromimpuls angelegt, der zunächst den Hilfsthystor B leitend macht. Der durch den Hilfsthystor B fließende Laststrom wird dann an die Hilfsemitterelektrode 21 des Hauptthyristors geleitet. Dieser Laststrom des Hilfsthystors B fließt zunächst in die Schottkydiode 17 und in den Kondensator 16, bis an der Hilfsemitterelektrode 21 eine Spannung erreicht ist, die größer als die Schwellspannung des kathodenseitigen pn-Übergangs des Hauptthyristors A ist. Liegt diese Spannung z. B. bei 0,5 V, so wird der Kondensator auf + 0,5 V gegenüber der Kathodenelektrode 7 aufgeladen. Wird an den Halbleiterkörper eine Spannung mit hoher Steilheit angelegt, also ein hohes du/dt , so fließt der impulsförmige Verschiebungsstrom in den Kondensator 16 und über die Diode 17 zur Kathodenelektrode 7 ab. Wichtig dabei ist, daß der Spannungsabfall kleiner als ca. 0,5 V bleibt, da sonst die aus der n-dotierten Zone 6 emittierten Elektronen ein ungewolltes Zünden auslösen würden.

Die Schottkydiode 17 und der Kondensator 16 in Fig. 2 übernehmen gemeinsam die Funktion der Kathodenkurzschlüsse in Fig. 1. Damit diese Kombination die Ausbreitung des Plasmas im gezündeten Thyristor nicht in gleicher Weise behindert wie die Kathodenkurzschlüsse, ist es vorteilhaft, den bei Vorwärtsbelastung ständig durch die Schottky-Diode fließende Strom möglichst gering zu halten. Der minimal erforderliche Strom wird nicht wie bei den Kurzschlüssen durch den größten nicht zur Zündung führenden du/dt -Verschiebungsstrom, sondern nur durch den größten nicht zur Zündung führenden Sperrstrom gegeben, der i.a. eine Größenordnung niedriger liegt. Der in seiner Ladungsmenge begrenzte du/dt -Verschiebungsstrom muß dann allerdings nahezu vollständig durch den entsprechend groß ausgelegten Kondensator absorbiert werden.

Besonders vorteilhaft ist es, wenn die Beschaltung des asymmetrischen Thyristors mit einem Kondensator 16 und einer Diode — vgl. punktierte Umrandung in Fig. 3

3732210

1/2

87 P 16 65 DE

Number:
Int. Cl. 4:
Anmeldetag:
Offenlegungstag:

37 32 210
H 03 K 17/72
24. September 1987
13. April 1989

11

FIG 1

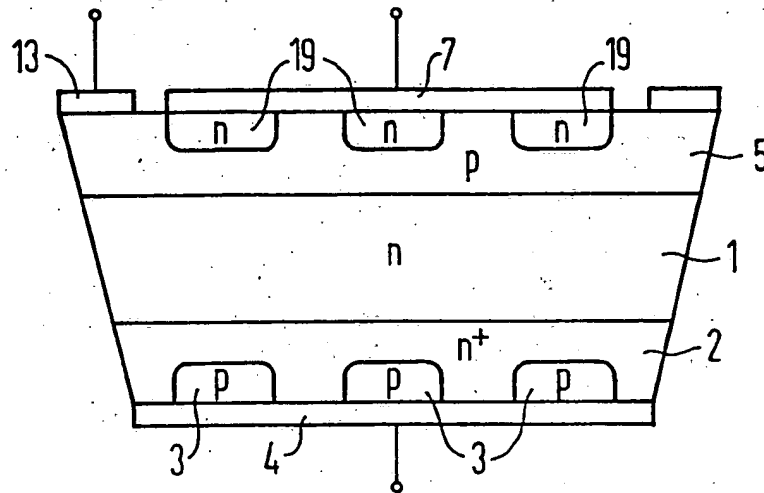
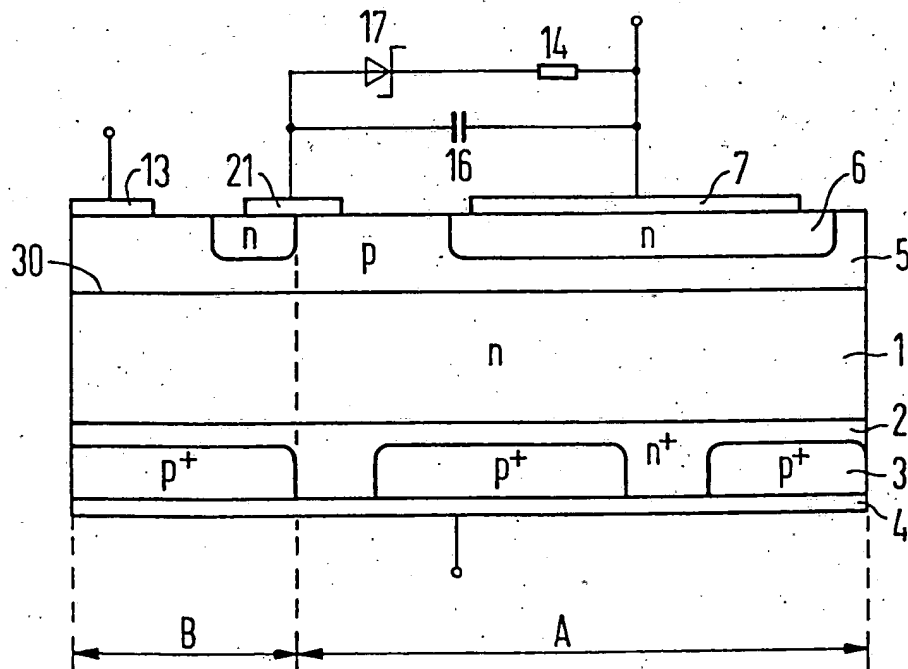


FIG 2



ORIGINAL INSPECTED

3732210

72

2/2

87 P 1665 DE

FIG 3

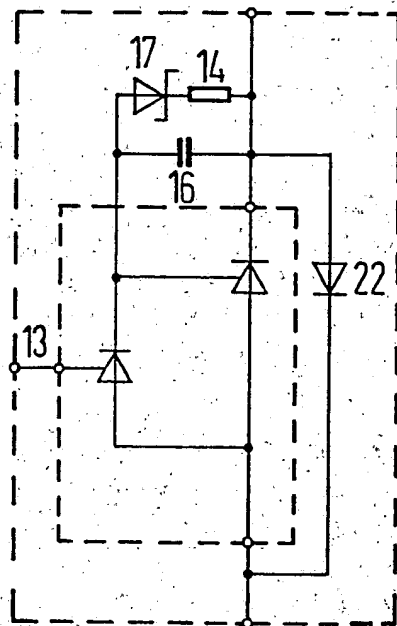


FIG 4

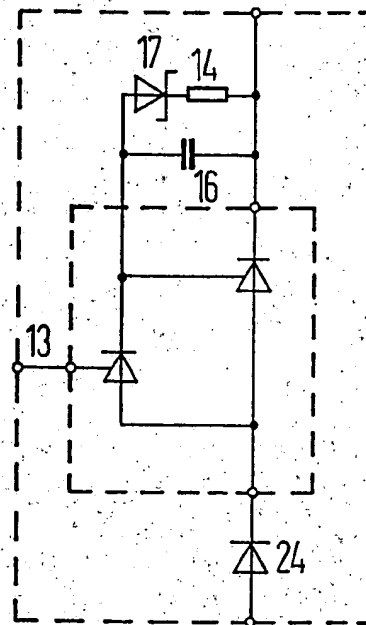


FIG 5

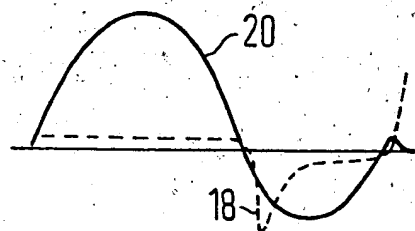
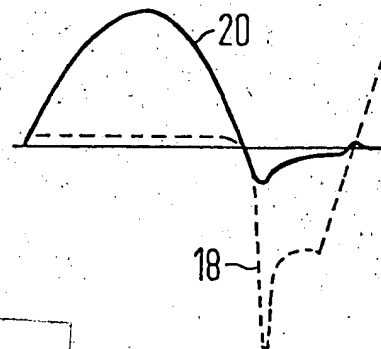


FIG 6



Docket # WMP-SME 515
 Applic. # 10/007,397
 Applicant: Tihanyi
 Lerner and Greenberg, P.A.
 Post Office Box 2480
 Hollywood, FL 33022-2480
 Tel: (954) 925-1100 Fax: (954) 925-1101

ORIGINAL INSPECTED